

m)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-88260

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月30日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I	
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M
10/18		G 0 2 B 6/00	C
G 0 2 B 6/00		H 0 4 B 9/00	Q
H 0 4 B 10/14			
10/135			

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

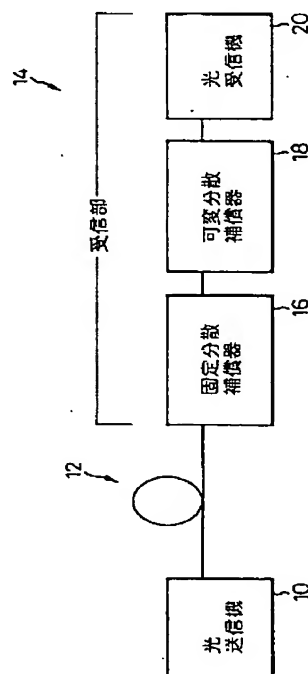
(21) 出願番号	特願平9-243877	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成9年(1997) 9月9日	(72) 発明者	石川 丈二 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 石田 敬 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光伝送路の分散補償装置

(57) 【要約】

【課題】 精密でかつ大きい分散値が可能な分散補償を行なって大容量かつ長距離の光伝送を実現する。

【解決手段】 固定的な分散量を有する固定分散補償器16または分散量の不連続な変更が可能な離散可変分散補償器で粗い分散補償を行ない、可変の分散量を有する可変分散補償器18または分散量の連続的な変更が可能な連続可変分散補償器で精密な分散補償を行なう。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 固定的な分散量を有し、光伝送路の波長分散を粗く補償するための固定分散補償手段と、可変の分散量を有し、光伝送路の波長分散を精密に補償するための可変分散補償手段とを具備する光伝送路の分散補償装置。

【請求項2】 前記固定分散補償手段及び前記可変分散補償手段は、その両方が前記光伝送路の送信側及び受信側のいずれか一方に配置される固定分散補償器及び可変分散補償器をそれぞれ含む請求項1記載の装置。

【請求項3】 前記固定分散補償手段及び前記可変分散補償手段は、前記光伝送路の送信側と受信側に別々に配置される固定分散補償器及び可変分散補償器をそれぞれ含む請求項1記載の装置。

【請求項4】 前記光伝送路はその途中に設けられた光増幅中継器を具備し、前記固定分散補償手段は、該光増幅中継器の近傍に設けられた第2の固定分散補償器をさらに含む請求項2または3記載の装置。

【請求項5】 前記可変分散補償手段は、前記光増幅中継器の近傍に設けられた第2の可変分散補償器をさらに含む請求項4記載の装置。

【請求項6】 前記光伝送路の受信側に設けられ、該光伝送路で伝送された光信号の特性を測定することによって該光伝送路の伝送特性を測定する伝送特性測定器をさらに具備し、前記可変分散補償手段の分散量は該伝送特性測定器が測定した伝送特性に基づき設定される請求項1記載の装置。

【請求項7】 前記伝送特性測定器が測定した伝送特性に基づき、前記可変分散補償手段の分散量を自動的に制御する制御器をさらに具備する請求項6記載の装置。

【請求項8】 不連続な変更が可能な分散量を有し、光伝送路の波長分散を粗く補償するための離散可変分散補償手段と、連続的な変更が可能な分散量を有し、光伝送路の波長分散を精密に補償するための連続可変分散補償手段とを具備する光伝送路の分散補償装置。

【請求項9】 前記離散可変分散補償手段及び前記連続可変分散補償手段は、その両方が前記光伝送路の送信側及び受信側のいずれか一方に配置される離散可変分散補償器及び連続可変分散補償器をそれぞれ含む請求項8記載の装置。

【請求項10】 前記離散可変分散補償手段及び前記連続可変分散補償手段は、前記光伝送路の送信側と受信側に別々に配置される離散可変分散補償器及び連続可変分散補償器をそれぞれ含む請求項8記載の装置。

【請求項11】 前記光伝送路はその途中に設けられた光増幅中継器を具備し、前記離散可変分散補償手段は、該光増幅中継器の近傍に

設けられた第2の離散可変分散補償器をさらに含む請求項9または10記載の装置。

【請求項12】 前記連続可変分散補償手段は、前記光増幅中継器の近傍に設けられた第2の連続可変分散補償器をさらに含む請求項11記載の装置。

【請求項13】 前記光伝送路の受信側に設けられ、該光伝送路で伝送された光信号の特性を測定することによって該光伝送路の伝送特性を測定する伝送特性測定器をさらに具備し、前記離散可変分散補償手段及び連続可変分散補償手段の分散量は該伝送特性測定器が測定した伝送特性に基づき設定される請求項8記載の装置。

【請求項14】 前記伝送特性測定器が測定した伝送特性に基づき、前記離散可変分散補償手段及び連続可変分散補償手段の分散量を自動的に制御する制御器をさらに具備する請求項13記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】近年、急激な情報量の増加に伴い、光通信システムの大容量化が望まれている。国内では、伝送速度10Gb/sの光増幅中継伝送システムの実用サービスが始まった。本発明は、今後の更なる長距離・大容量化を実現するための、伝送路の波長分散(chromatic dispersion)および非線形効果の補償方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】伝送速度の増加にともない、光ファイバの群速度分散(Group-velocity dispersion:GVD)による波形劣化のために、伝送距離が厳しく制限される。さらに、送受レベル差を確保するために、送信光パワーを増加させると、ファイバ非線形効果である自己位相変調(Self-phase modulation:SPM)効果の影響が大きくなり、群速度分散との相互作用(SPM-GVD効果)のために、波形劣化がより複雑になる。

【0003】既存ファイバ伝送路の大半を占める零分散波長が1.3μm帯にあるシングルモードファイバ(以下、SMFと略す。)伝送路を用いた光伝送システムにおいては、信号光波長1.55μm(石英系ファイバにおける伝送損失が最小である波長)における波長分散値が約+18ps/nm/kmと大きいために、10Gb/s以上では分散補償技術の適用が不可欠である。40Gb/s SMF 50km伝送実験によれば(送受信機構成はG. Ishikawa et al., ECOC'96 ThC.3.3参照)、パワーペナルティが1dB以下であるときの分散補償トレランスは30ps/nmと極めて小さい。つまり、40Gb/s SMF伝送システムにおいては、中継区間ごとに高精度で分散補償しなければならない。

【0004】一方、近年、10Gb/s長距離伝送のために、1.55μm帯分散シフトファイバ(以下、DSF

と略す。) 伝送路の敷設が進められている。しかし、光ファイバ製造過程における線引き時のファイバコア径の微小変動により、各中継区間ごとの零分散波長 $\lambda_0$ にはバラツキがあり、さらに一中継区間内でも $\lambda_0$ は長さ方向に変動している。また、一般に、伝送路ケーブルは数kmのセグメントの多芯ケーブルが繋ぎ合わされており、隣接セグメント間の $\lambda_0$ には連続性がなく、ランダムに分布している。このため、一中継区間において $\pm 10\text{nm}$ 以上変動している可能性もあり、中継区間ごとにその変動の様式も異なる。このため、 $40\text{Gb/s}$  DSF長距離伝送システムにおいても厳密な分散補償が必要とされる。

【0005】伝送速度 $10\text{Gb/s}$ までの光伝送システムにおいては、分散トレランスが比較的広いために、 $20\sim 40\text{km}$ の伝送距離範囲に対して、分散補償ファイバ(DCF)やファイバグレーティングのような一定の分散値を有する分散補償器を共通に適用するシステム設計が可能である。しかし、 $40\text{Gb/s}$ システムのように分散補償トレランスが極めて小さい場合には、中継区間ごとに分散補償量を最適化する必要がある。この実現方法としては、現状では、(i) 伝送路の波長分散実測値に応じた分散補償器を作製する方法、(ii) 分銅方式で小刻みに分散量の異なるDCFやファイバグレーティングの“ユニット”を用意しておき、波長分散実測値に応じて、挿入するユニットの組み合わせを変更する方法程度しか見当たらない。しかし、(ii)の場合、ユニットを多段接続すると、装置規模が大型になり、各ユニット間をコネクタ接続にしたとすると、総挿入損失も大きくなる。また、波長分散値がわからない場合でも、ユニットを挿抜しながら最適化することはできるが、莫大な工数と無駄なユニットが必要となる。さらに(i)、(ii)のいずれの場合も、伝送路(管路)の温度や外的圧力や振動により、波長分散値が経時的に変化する場合には対応できない。

【0006】そこで、 $40\text{Gb/s}$ システムのような超高速システムにおいては、一つのデバイスで分散量を可変できる“可変分散補償器”の新規開発が不可欠である。これまで可変分散補償器としては、 $-383\text{ps/nm}$ から $+615\text{ps/nm}$ まで可変できるPLC(Planner Lightwave Circuit)分散補償器(K. Takiguchi et al., ECOC'93 ThC12.9)が提案されている。しかし、可変範囲が $-383\sim +615\text{ps/nm}$ の可変分散補償器では波長分散値が $+18\text{ps/nm/km}$ のSMFに対しては $20\text{km}$ 程度までしか対応できず、製造性と制御性の点でも実用化は難しい。また、ファイバグレーティング分散補償器において、ペルチェ素子により温度傾斜をつけたたり、圧電素子によりファイバグレーティング自体に外的応力(Stress)を与えることにより可変性を持たせる方法(R.I. Raming and M.N. Zervas, ECOC'96 Sho

rt courses)も提案されているが、制御の複雑さや帯域が狭い等の課題があり(M. Kato and Y. Miyajima, OECC'97 9D1-2)、これも実用化レベルには至っていない。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記の様に、これまでの可変分散補償器では、1つの分散補償器に(i)大きな分散量と(ii)大きな可変量の両方を持たせようとしているために、設計、製造、制御が困難になり、実用性に欠けている。したがって本発明の目的は、伝送速度が例えば $40\text{Gb/s}$ であるような大容量の光信号を、例えば波長分散値が $+18\text{ps/nm/km}$ の伝送路で $20\text{km}$ 以上伝送する場合のように大きな分散補償量を必要とする伝送路で伝送する場合に、伝送距離等の種々の条件に応じて伝送路の波長分散を高精度で補償することのできる分散補償装置を提供することにある。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、固定的な分散量を有し、光伝送路の波長分散を粗く補償するための固定分散補償手段と、可変の分散量を有し、光伝送路の波長分散を精密に補償するための可変分散補償手段とを具備する光伝送路の分散補償装置が提供される。

【0009】本発明によれば不連続な変更が可能な分散量を有し、光伝送路の波長分散を粗く補償するための離散可変分散補償手段と、連続的な変更が可能な分散量を有し、光伝送路の波長分散を精密に補償するための連続可変分散補償手段とを具備する光伝送路の分散補償装置が提供される。伝送距離の程度に応じて固定分散補償手段または離散可変分散補償手段で光伝送路の波長分散を粗く補償し、さらに、可変分散補償手段または連続可変分散補償手段で精密に補償することによって、必要な分散補償量が大きい場合でも高精度で補償することができ、大容量の伝送が可能になる。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第1の実施例に係る光伝送システムを示す。図1において、光送信機10から出力される例えば波長 $1.55\mu\text{m}$ 、伝送速度 $40\text{Gb/s}$ の光信号は、例えば零分散波長が $1.3\mu\text{m}$ のSMF 12で伝送され、光受信機20を有する受信部14において受信される。この実施例では、SMF 12の長さに応じていくつかのメニューから選択された分散量を有する固定分散補償器16と、伝送距離等の条件に応じて分散補償量を変更することのできる可変分散補償器18は共に受信部14に配置される。

【0011】固定分散補償器16としては、例えばファイバのコアに特殊な半径方向の屈折率分布を持たせることによって通常のSMFの分散の極性(正)と逆の極性(負)の分散を持たせた分散補償ファイバ(DCF)や、ファイバのコアに屈折率変化によるブラッグ格子を形成して負の分散を持たせたファイバグレーティング分散補償器が使用可能である。

【0012】可変分散補償器18としては、前述のPLC分散補償器及びファイバグレーティングに応力傾斜や温度傾斜を与えて分散量を変えるものが使用可能である。一例として、後者のファイバグレーティングに応力を与えることによる可変分散補償器の一例(M. M. Ohm et al., "Tunable fiber grating dispersion using a piezoelectric stack", OFC'97 Technical Digest, WJ3, pp.155-156)について説明する。図2に示すように、チャープドファイバグレーティング22の21個のセグメントの各々に別々に圧電素子24を取り付ける。各圧電素子への印加電圧 $V_1 \sim V_{21}$ として図3に示すように傾斜をつけて電圧を与えると、グレーティング22の長手方向に加わる圧力が変化し、図3のA~Dの電圧パターンに対して図4のように分散値(線の傾き)が変化する。これらの間の中間的な電圧パターンを与えることによって、分散値を連続的に変化させることができるのは勿論である。

【0013】図5は光信号を再生することなくそのまま増幅して中継する光増幅中継伝送システムに本発明の第1の実施例を適用した例を示す。図5及びそれ以降の図面において既出と同一の構成素子には同一の参照番号を付してその説明を省略する。図5において、エルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)26を有する光増幅中継器が伝送路の途中に多数設けられ光信号を非再生で中継する。図1と同様に固定分散補償器16と可変分散補償器18は受信部14に設けられる。

【0014】図1及び図5の例において、固定分散補償器16と可変分散補償器18の順番を入れ替えても良い。また、それらを図6及び図7にそれぞれ示すように光送信機10が備えられた送信部28に設けても良い。この場合にもそれらの順番の入替は可能である。図8及び図9に示すように、それらを送信部28と受信部14に別々に設けても良い。図5の構成に加えて、図10に示すように固定分散補償器16と可変分散補償器18をそれぞれの光増幅中継器30に設けても良い。図10において、全ての光増幅中継器30に分散補償器16、18が設けられているが、一部の光増幅中継器のみに設けても良い。また、受信部14に分散補償器16、18が設けられているが、送信側に設けても良い。また、図11に示すように、光増幅中継器30には固定分散補償器16のみを配置して粗い分散補償を行ない、受信部14のみに可変分散補償器18を配置して精密な分散補償を行なっても良い。この場合に、可変分散補償器18は受信部14でなく送信側に配置しても良い。またすべての光増幅中継器30に固定分散補償器16を配置するのではなく、一部に配置しても良い。

【0015】図12は本発明の第2の実施例に係る光伝送システムを示す。図12において、離散可変分散補償器32は不連続な値で変更が可能な分散量を有し、例えば、図13で示す構成で実施することができる(A. Sano

et al., EOC'96, TuD.3.5)。図13において正もしくは負の分散値を有するDCF36が1×4スイッチ38で従属されている。図示の例では-183ps/nmから+152nmの間で分散値を約7ps/nmの間隔で設定することができる。DCFの代わりにファイバグレーティング等の固定分散値設定可能な他のデバイスを使用しても良い。連続可変分散補償器34としては、前述したPLC分散補償器またはファイバグレーティングに応力傾斜や温度傾斜を与えたものが使用できる。

【0016】図14は光増幅中継伝送システムに本発明の第2の実施例を適用した例を示す。図12と同様に分散補償器32、34が受信部14に設けられる。図12及び図14の例において離散可変分散補償器32と連続可変分散補償器34の順番を入れ替えても良い。また、それらを図15及び図16にそれぞれ示すように送信部28に設けても良い。この場合にもそれらの順番の入替は可能である。図17及び図18に示すように、それらを送信部28と受信部14に別々に設けても良い。図14の構成に加えて、図19に示すように離散可変分散補償器32と連続可変分散補償器34をそれぞれの光増幅中継器30に設けても良い。図19において、全ての光増幅中継器30に分散補償器32、34が設けられているが、一部の光増幅中継器のみに設けても良い。また、受信部14に分散補償器32、34が設けられているが、送信側に設けても良い。また、図20に示すように、光増幅中継器30には離散可変分散補償器32のみを配置して粗い分散補償を行ない、受信部14のみに連続可変分散補償器34を配置して精密な分散補償を行なっても良い。この場合に、連続可変分散補償器34は受信部14でなく送信側に配置しても良い。またすべての光増幅中継器30に離散可変分散補償器32を配置するのではなく、一部に配置しても良い。

【0017】これまでに説明した例において、伝送波形シミュレーション等から予め長さ方向変動も含む波長分散値が把握できている場合には、その結果から、分散補償器(固定、連続可変、離散可変)の配置および分散補償量を決定することができる。一方、伝送路の波長分散が不明な場合は、図21~26に示すように、システム立ち上げ時に、受信側で伝送特性測定器36により伝送特性を測定し、伝送特性が最適になる分散補償値に設定すればよい。このとき、図に示すように制御信号を可変分散補償器(連続可変、離散可変)にフィードバックさせながら分散補償量を掃引することも可能である。なお、ここで測定する伝送特性としては、符号誤り率、Q値、信号中のパリティビットチェック、伝送波形等が利用できる。

【0018】図27に伝送特性としてQ値を測定してフィードバックする場合の伝送特性測定部36の詳細な構成を示し、図28に、図27に示したマイクロコンピュータ40の動作のフローチャートを示す。図28におい

て、システム立ち上げ時に可変分散補償器の分散値を掃引しながらQ値の測定を行ない(ステップ1000)、可変分散補償器の分散値をQ値が最大となる分散値に設定する(ステップ1002)。システム運用時には、例えば1時間おきにQ値の測定を行ない(ステップ1004)、それが基準値以下であれば(ステップ1006)、可変分散補償器の分散値をプラス方向へ1ステップ変化させる(ステップ1008)。これでQ値が改善されればステップ1006の判定に戻る。Q値が改善されなければ、逆にマイナス方向へ1ステップ変化させ(ステップ1012)、Q値が基準値以上になるまで、ステップ1012を繰り返す。

【0019】Q値測定系42が測定するQ値の定義を図29に示す。すなわち、

$$Q = 20 \log_{10} \left[ (\mu_1 - \mu_0) / (\sigma_1 + \sigma_0) \right]$$

但し、 $\mu_1$  : “発光”時の平均レベル

$\mu_0$  : “非発光”時の平均レベル

$\sigma_1$  : “発光”時の標準偏差

$\sigma_0$  : “非発光”時の標準偏差

である。分子には発光と非発光の信号レベル差(=信号振幅)、分母には発光および非発光の雑音の標準偏差の和を用いて表現する。雑音の分布としてガウス分布を仮定すると、図29で定義されたQ値が与える符号誤り率は、実測する符号誤り率の最小値と一致する。Q値測定系42は光受信機とほぼ同じ構成であり、リファレンス電圧可変機能を有する識別回路を用い、等化波形の識別レベルを、最適レベルから上下に変更して符号誤り率を測定し、その測定から得られた2本の直線の交点を求めることにより、符号誤り率の最小点を推定して、Q値を求めることができる。

【0020】伝送特性として、受信光の波長分散値そのものを測定してそれが最適値になるように可変分散補償器を制御しても良い。波長分散値の測定は市販の波長分散測定器をそのまま使用するか、またはそれと同じ機能を送受信装置内に組み込んで実現できる。また、波長分散値とクロック信号成分の強度との間の関係を利用して、受信信号からベースバンド帯域の特定の周波数成分、特にクロック信号成分の強度を検出して、それが極大、極小または所定の値になるように分散補償量を制御しても良い。

【0021】さらに、システム立ち上げ時のみでなく、システム運用中にも、伝送特性を監視しながら、分散補償量制御を行うことにより、伝送路の波長分散値の温度依存性および経時変化等にも対応することができる。なお、図21～26において、分散補償器16、18、32、34の配置は図示した例に限られず、例えば前述したような様々な変形が可能である。

【0022】受信側から各可変分散補償器へのフィードバック信号の転送方法としては、光ファイバ伝送路を用いた双方向通信方式や低速の電気アナログ通信方式等が

考えられる。さらに、CPU等を適用したり、システム全体を集中管理することにより、分散補償量の最適設定を自動的に行うことも可能である。また、運用回線と分散条件および敷設環境のほぼ等しい予備回線が存在する場合には、まず、予備回線において分散補償量の最適化を行った後、それらを参照して、運用回線に適用する方法により、サービスを中断することなく分散補償量の最適化が可能となる。

#### 【0023】

【発明の効果】本発明により、既設のファイバ伝送路を用いたままで、伝送速度の高速化を図ることができ、様々なファイバの種類(SMF、DSF)、中継間隔、波長分散値の長さ方向変動にも対応可能となり、システム全体のコスト低減に繋がる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る光伝送システムのブロック図である。

【図2】可変分散補償器の一例を示す図である。

【図3】図2の可変分散補償器の各セグメントへ与える電圧 $V_1 \sim V_{21}$ のパターンA～Dを示すグラフである。

【図4】各電圧パターンA～Dにおける分散値を示すグラフである。

【図5】図1の光伝送システムの一変形のブロック図である。

【図6】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図7】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図8】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図9】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図10】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図11】図1の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図12】本発明の第2の実施例に係る光伝送システムのブロック図である。

【図13】離散可変分散補償器の一例のブロック図である。

【図14】図12の光伝送システムの一変形のブロック図である。

【図15】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図16】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図17】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図18】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図19】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図20】図12の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図21】本発明の第3の実施例に係る光伝送システムのブロック図である。

【図22】図21の光伝送システムの一変形のブロック図である。

【図23】図21の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図24】図21の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図25】図21の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図26】図21の光伝送システムの他の変形のブロック図である。

【図27】伝送特性測定部36の詳細な構成を示すブロック図である。

【図28】図27のマイクロコンピュータ40の動作のフローチャートである。

【図29】Q値の定義を示す図である。

【符号の説明】

12…SMF

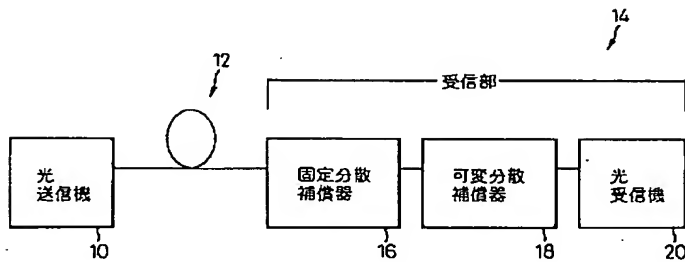
22…チャープトファイバグレーティング

24…圧電素子

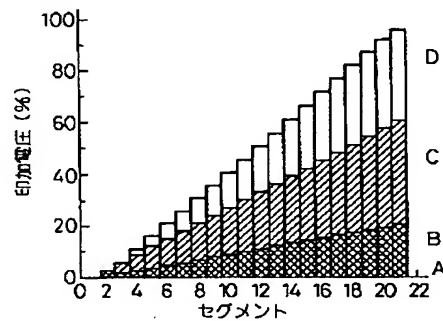
36…DCF

38…1×4スイッチ

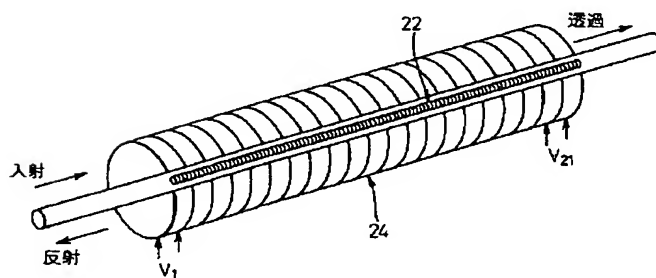
【図1】



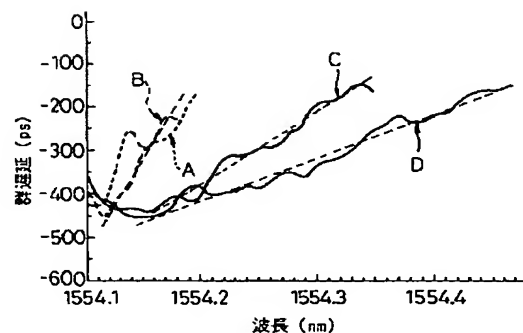
【図3】



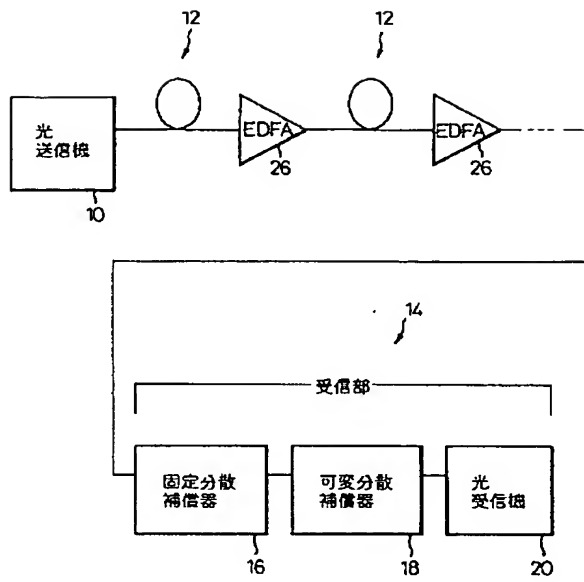
【図2】



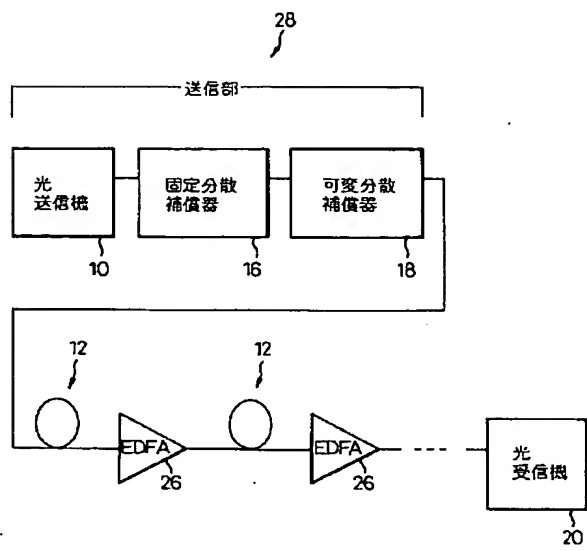
【図4】



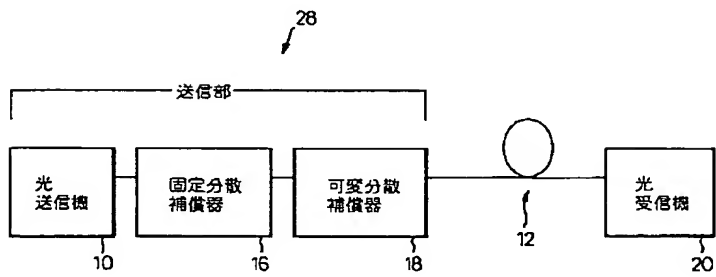
【図5】



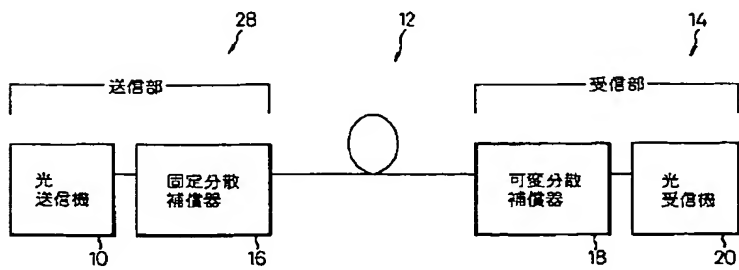
【図7】



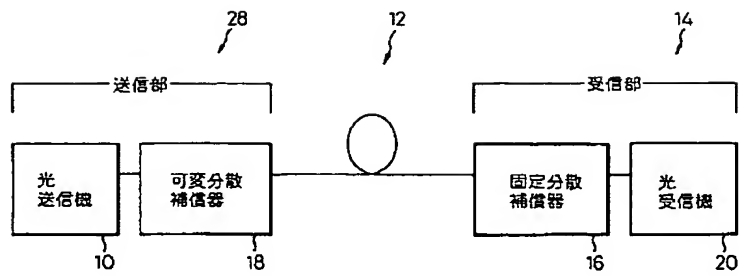
【図6】



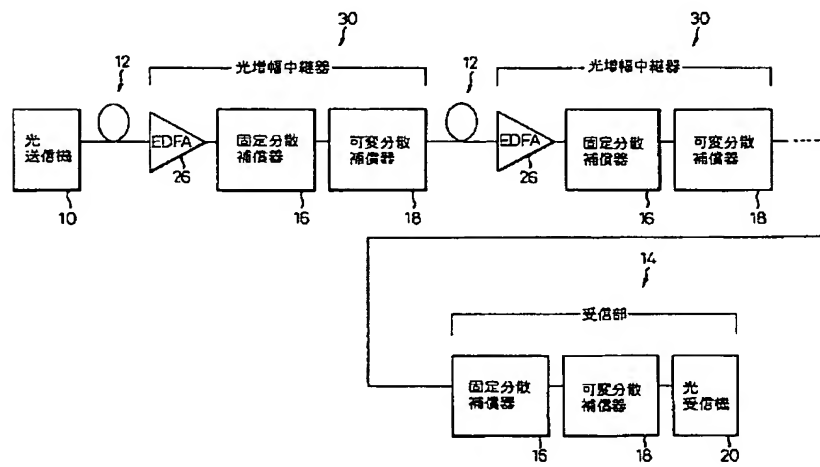
【図8】



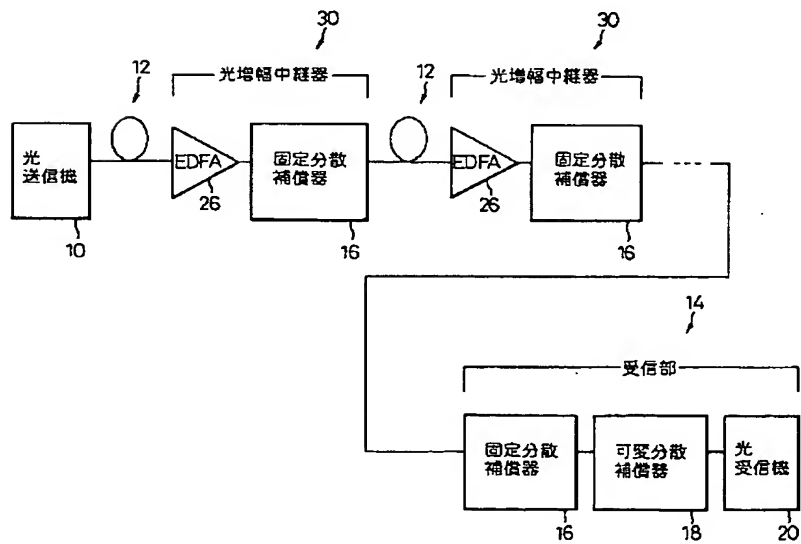
【図9】



【図10】

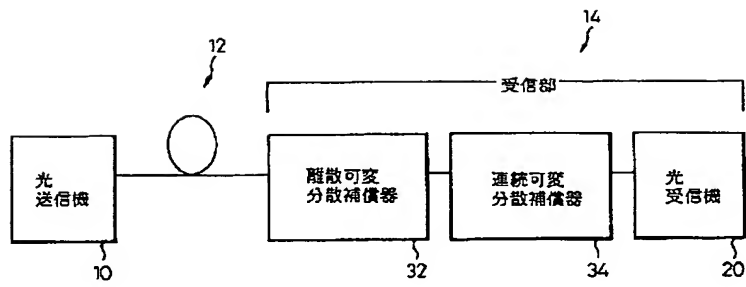


【図11】

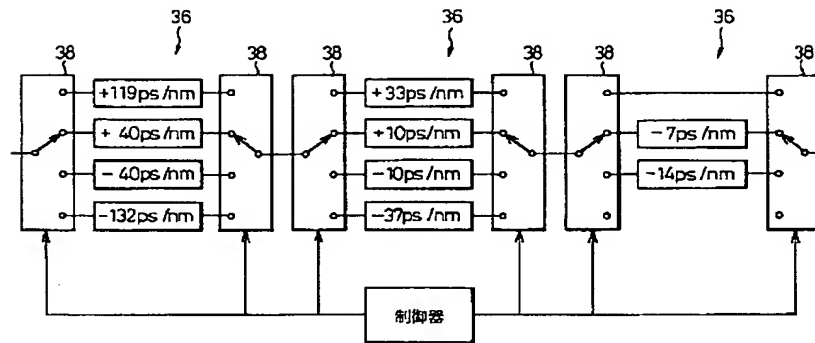




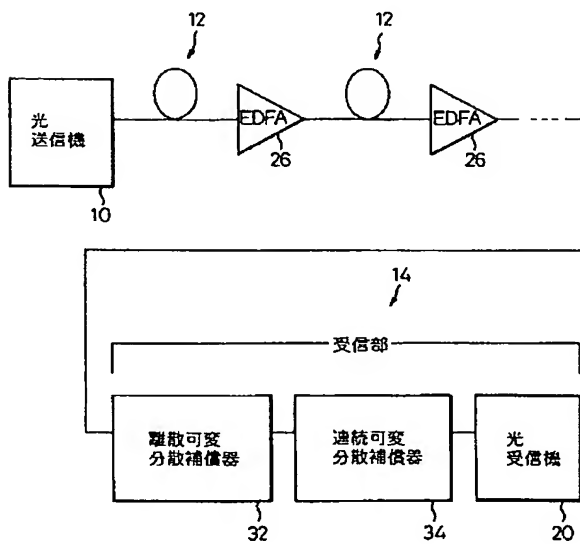
【図12】



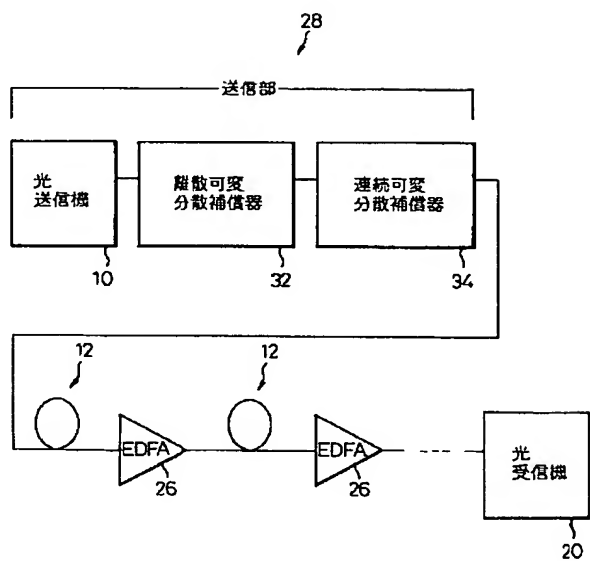
【図13】



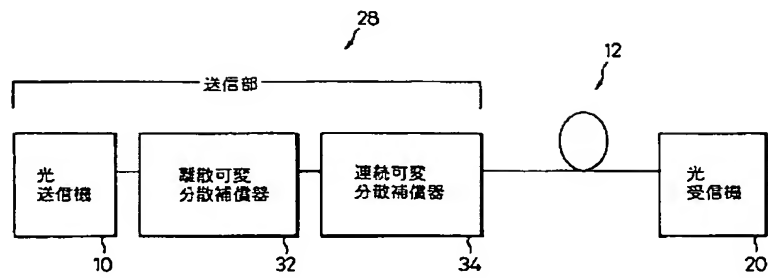
【図14】



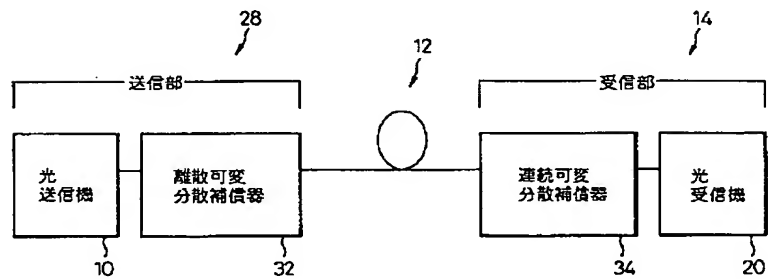
【図16】



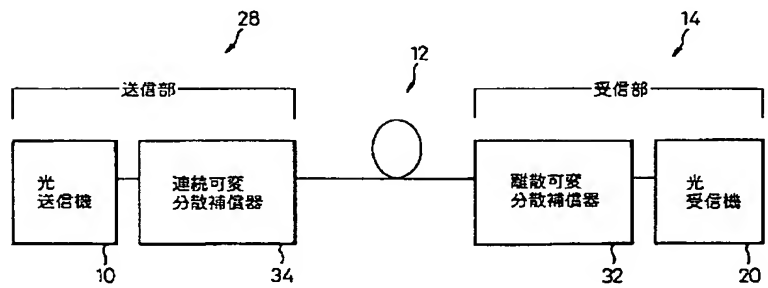
【図15】



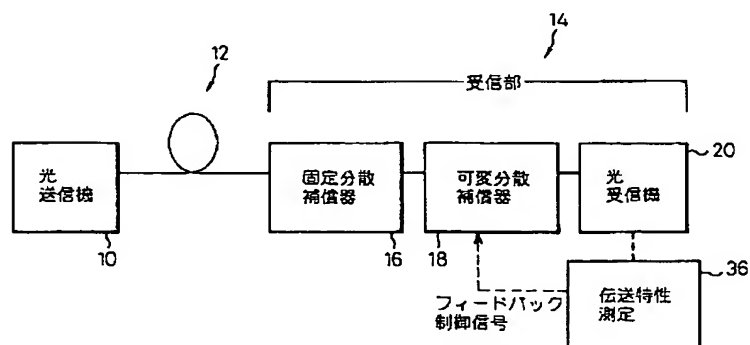
【図17】



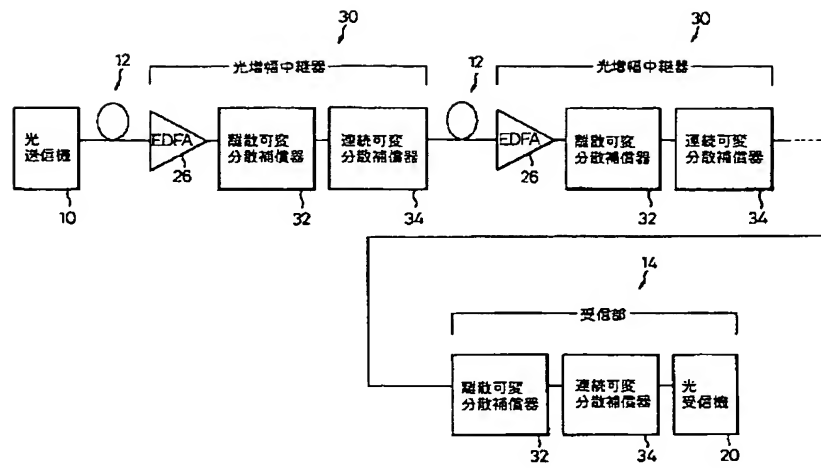
【図18】



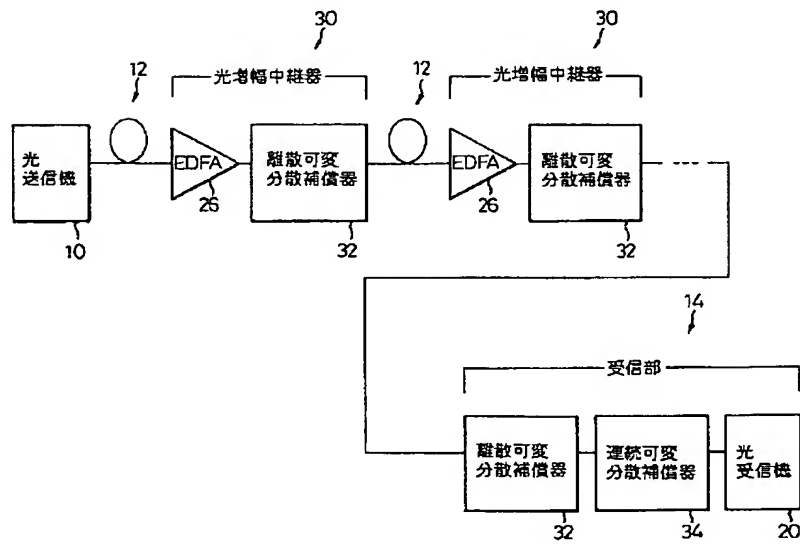
【図21】



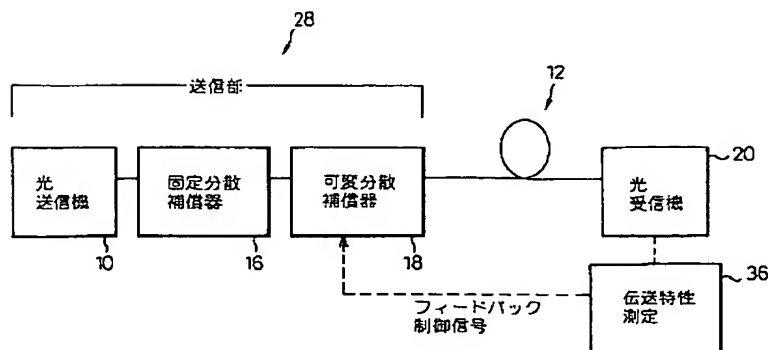
【図 1 9】



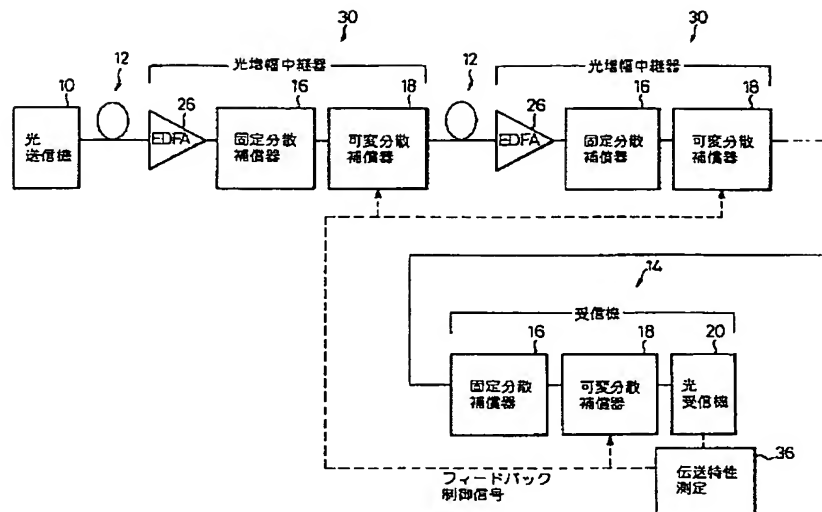
【図 2 0】



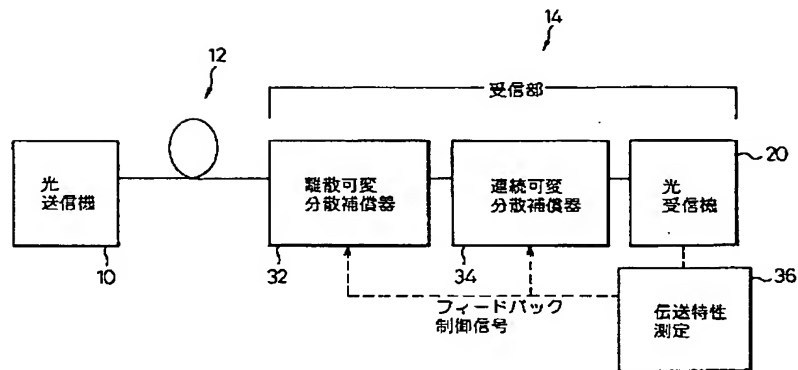
【図 2 2】



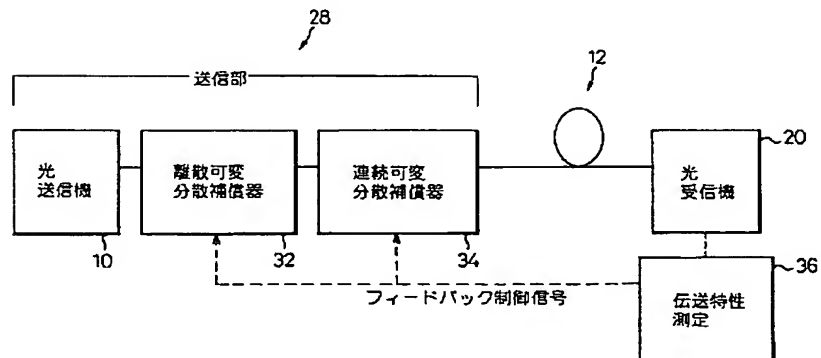
【図23】



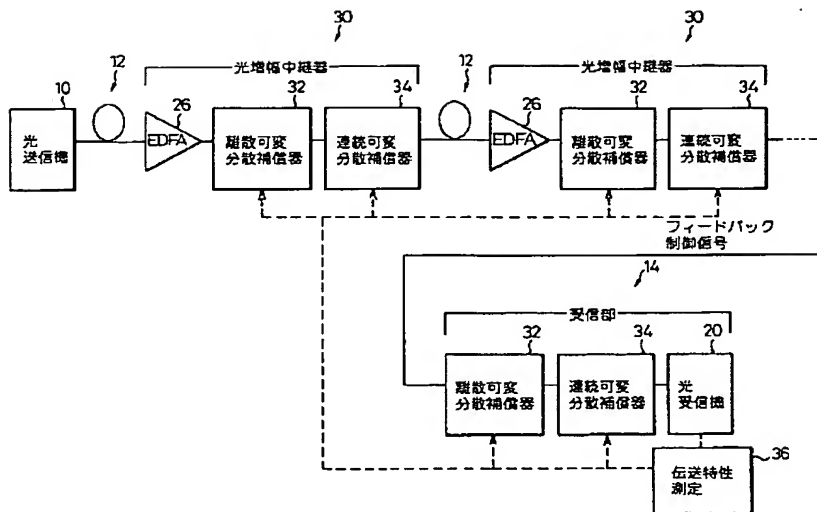
【図24】



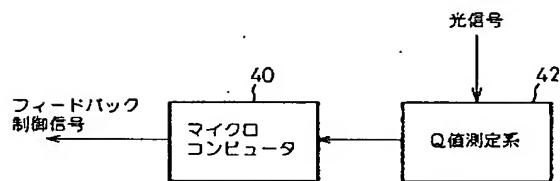
【図25】



【図26】

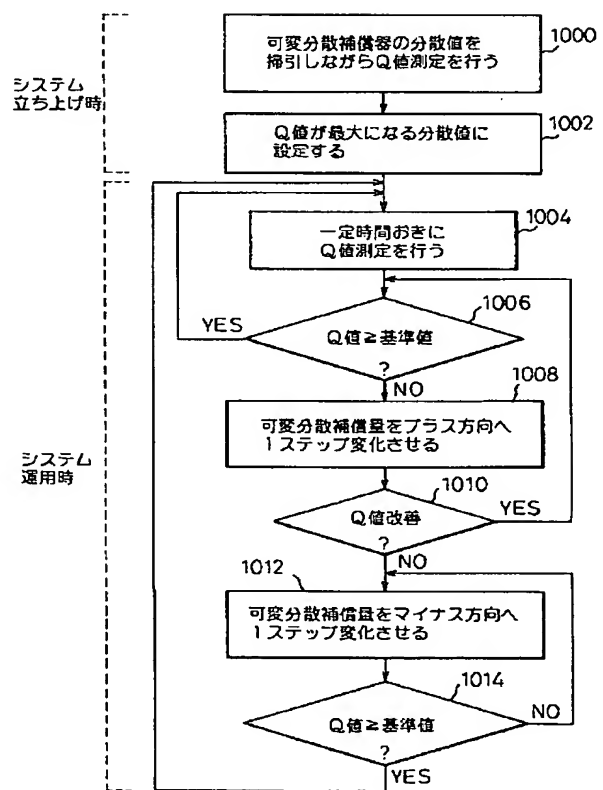


【図27】

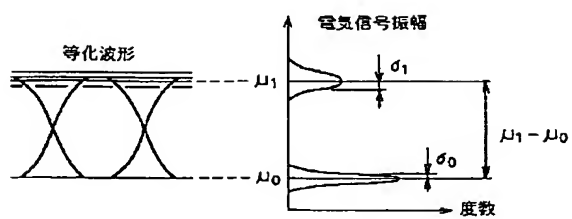


36

【図28】



【図 2 9】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>6</sup>

H 0 4 B 10/13

10/12

識別記号

F I